Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 401-412

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۱۲-۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل‌های گیاهی AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد برنج تحت مدیریت‌های زراعی در شهر رشت

پویا اعلایی بازکیایی[1]، بهنام کامکار[2]، ابراهیم امیری[3*]، حسین کاظمی[4]، مجتبی رضایی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 در تولید برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی رقم محلی (هاشمی) در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در موسسه تحقیقات برنج ایران، رشت انجام گردید. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح غرقاب دائمی، دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز و تاریخ کاشت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (اول اردیبهشت، بیستم اردیبهشت و دهم خرداد) در نظر گرفته شدند. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی با استفاده از مؤلفه‌های ضریب تبیین، آزمون t و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل (EF) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب ۹ و ۵ درصد در مدل AquaCrop و معادل ۷ و ۶ درصد در مدل ORYZA2000 تعیین گردید. طبق نتایج هر دو مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده در سطوح آبیاری و تاریخ کاشت داشتند. نتایج نشان داد مدل AquaCrop جهت اجرا در شرایط دسترسی به داده اندازه‌گیری شده کم‌تر، مطلوب‌تر است؛ اما اگر بخواهیم بررسی با دقت بالاتری انجام دهیم استفاده از مدل ORYZA2000 پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تاریخ کاشت، مدل ORYZA2000، مدل AquaCrop

مقدمه

امروزه نظام‌های تولید مواد غذایی برای پاسخ‌گویی به نیاز جمعیت رو به رشد جهان و همچنین تولید پایدار در شرایط تغییر اقلیم جهانی، نیاز به بررسی و تحول دارند (Matthews *et al.*, 2013). در این زمینه میزان عملکرد غلات نقش بسیار مهمی در پشتیبانی از امنیت غذایی جهان دارد (Leng, 2017). طبق تحقیقات صورت گرفته، عملکرد واقعی در گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) در جهان به‌ترتیب ۶۴، ۵۰ و ۶۴ درصد پتانسیل عملکرد آن‌ها گزارش شده است (Neumann *et al.*, 2010). بدین منظور بایستی عوامل کاهنده عملکرد شناسایی شده و مدیریت مطلوب جهت رفع خلاء عملکرد اجرا شود. بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO) ایران در سال ۲۰۱۸ دارای ۵۸۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۱/۹۹ میلیون تن تولید برنج بوده است. واردات برنج در ایران در سال ۲۰۱۸ حدود ۱/۲ میلیون تن بوده است (FAO, 2020). استان گیلان بعد از مازندران بیش‌ترین سطح زیر کشت برنج (۱۹۷ هزار هکتار) را در بین استان‌های کشور دارد (Agricultural Statistics, 2017)؛ بنابراین توجه به تولید برنج در این استان از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به میانگین پایین بارش در ایران و مشکلاتی که اثر افزایش مصرف آب به وجود می‌آورد، باید یک بازنگری کلی در روش‌های آبیاری برنج صورت گیرد. در استان‌های گیلان و مازندران که استان‌های اصلی تولید برنج کشور می‌باشند، کشت برنج با روش‌های سنتی با کارایی کمی همراه است (Amiri *et al.*, 2011). اصولاً عملکرد پایین محصولات زراعی توسط کمبودهای موجود در محیط‌زیست فیزیکی رشد گیاهان زراعی به وجود می‌آید که در مدیریت‌های زراعی به آن‌ها پرداخته نشده است (Neumann *et al.*, 2010; Mueller *et al.*, 2012). مدل‌ها می‌توانند نقش مهمی در پیش‌بینی میزان عملکرد، دستیابی به پتانسیل تولید و تأمین تقاضای غذایی جهان داشته باشند (Rosegrant and Cline, 2003).

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- استادیار، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: eamiri57@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i4.86749

مدل ORYZA2000، رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط مطلوب، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند (Bouman and Van Laar, 2006). نیسار و آرورا (Nisar and Arora, 2018) در شبیه‌سازی عملکرد برنج با مدل ORYZA2000 در تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت ریشه میانگین مربعات انحراف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد زیستی و دانه را ۱۲ و ۱۶ درصد گزارش نمودند. تاریخ کاشت روی رشد و نمو فنولوژی گیاه و در نتیجه روی میزان بهره‌برداری آن از محیط تأثیرگذار است (Pazoki *et al.*, 2010). ون اوورت و همکاران (Van Oort *et al.*, 2016) با کمک مدل ORYZA2000، به بررسی برنج تحت آبیاری در سنگال پرداختند. نتایج این آزمایش نشان داد که با کمک مدل می‌توان تاریخ کاشت ارقام مختلف را در تراکم‌های کاشت متفاوت تعیین نمود و قابلیت تولید برنج تحت تأثیر خطرات اقلیمی را بررسی نمود.

AquaCrop مدلی بر مبنای مصرف آب است که شبیه‌سازی پوشش تاج‌پوشش و ماده خشک بالای سطح خاک گیاه را در پاسخ به تعرق انجام می‌دهد و در پایان کار عملکرد را بر اساس مقادیر تعرق روزانه گیاه شبیه‌سازی می‌کند (Jin *et al.*, 2018). ژای و همکاران (Zhai *et al.*, 2019) در شبیه‌سازی عملکرد برنج با مدل AquaCrop در سطوح مختلف آبیاری مقدار NRMSE را در شبیه‌سازی عملکرد دانه کم‌تر از ۱۰ درصد گزارش نمودند. با توجه به ضرورت حصول تولید اقتصادی مطلوب و بررسی دقت مدل‌ها در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی و اهمیت آبیاری و تاریخ کاشت در حصول عملکرد مطلوب در کشت برنج، این تحقیق با هدف شبیه‌سازی عملکرد دانه و عملکرد زیستی برنج رقم هاشمی با استفاده از مدل ORYZA2000 و AquaCrop تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت در استان گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی مدل‌های ORYZA2000 و AquaCrop در استان گیلان، آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶) در موسسه تحقیقات برنج کشور بر روی رقم هاشمی (نوع زودرس از گروه ایندیکا) انجام شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ تهیه شد. طول و عرض هر کرت آزمایشی معادل ۳/۵ متر و فاصله کشت نشاها ۲۰ ×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری نوبتی به‌عنوان عامل اصلی در ۴ سطح غرقاب دائمی (I1)، دور ۵ (I2)، ۱۰ (I3) و ۱۵ روز (I4) و تاریخ کاشت در ۳ سطح (یک اردیبهشت (D1)، ۲۰ اردیبهشت (D2) و ۱۰ خرداد (D3)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. بود. کرت‌بندی بعد از شخم اولیه و ثانویه و انجام گل‌خرابی (پادلینگ) در برنج صورت گرفت. پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه‌داری شدند تا نشاها استقرار پایند. پس از آن مدیریت آبیاری در کرت‌ها بر مبنای برنامه اعمال شد. حجم آب آبیاری به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. در این آزمایش ارتفاع آب تیمار غرقاب ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Amiri *et al.*, 2011). کلیه عملیات زراعی و یادداشت‌های مورد نیاز نظیر تاریخ بذرپاشی در خزانه، نشاکاری، گل‌دهی و برداشت طبق استانداردهای زراعی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI[1]) انجام گرفت (IRRI, 2003). نیتروژن به‌صورت کود اوره به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه و به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک یک ماه بعد از مرحله پایه نیز مصرف شد. کود پتاسیم اکسید (K_2O) به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و فسفر (P_2O_5) به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده گردید. علف‌های هرز به‌طور دستی وجین گردید. در زمان رسیدگی (با طول فصل رشد به‌طور متوسط ۹۸ روز در تیمارهای مختلف)، مقدار عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب با برداشت یک و پنج مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. مؤلفه‌های فیزیکی و هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک در جدول ۱، اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ محل انجام طرح در جدول ۲ ارائه شده است. متوسط مقدار آب مصرفی در دو سال آزمایش در آبیاری غرقاب، دور ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب برابر ۵۸۰، ۵۰۵، ۳۹۹ و ۳۸۶ میلی‌متر و در تاریخ کشت D1 تا D3 به‌ترتیب ۴۸۰، ۴۹۳ و ۴۲۸ میلی‌متر بود که با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

تشریح مدل ORYZA2000

در این مدل میزان کل روزانه فتوسنتز گیاه بر اساس میزان تابش، دما و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود. ضرایب تخصیص نیز بر اساس توابع مربوطه که به فنولوژی گیاه بستگی دارد در مدل گنجانده می‌شود (Bouman *et al.*, 2001). مدل اثرات تنش خشکی را با توجه به اثر میزان مکش آب در خاک، بر رشد گیاه محاسبه می‌کند (Wopereis, 1993). در واسنجی مؤلفه‌های گیاهی از برنامه DRATES برای واسنجی سرعت توسعه فنولوژیکی و برنامه PARAM به‌منظور واسنجی سایر مؤلفه‌ها فوق که مختص به رقم است، استفاده شد (Bouman *et al.*, 2001). خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی موردنیاز خاک در شرایط مدیریت آبیاری مدل شامل مؤلفه‌های هیدرولیکی معادله ون‌گنوختن لایه‌های خاک که با کمک مدل RETC (مؤلفه‌های α، n و λ) و اندازه‌گیری واقعی (رطوبت در نقاط اشباع (θ_{SAT})، ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دائم

1- International Rice Research Institute

(θ_{PWP})، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{SAT}) و مقدار نشت و نفوذ عمقی) محاسبه شد (Amiri and Rezaei, 2010).

همچنین روز خزانه‌گیری، تعداد روز در خزانه، تعداد نشا در کپه، تعداد کپه در متر مربع، روز ظهور خوشه، مقدار و زمان آب آبیاری و در مورد برنج عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی به‌عنوان مؤلفه‌های مدیریتی جهت اجرای مدل در نظر گرفته شدند. برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده تحت شرایط تولید پتانسیل (آبیاری شرایط غرقاب) استفاده گردید (جدول ۳). ابتدا برنامه DRATES اجرا گردید که نتیجه آن محاسبه مقادیر سرعت فنولوژیکی در چهار فاز رویشی پایه (DVRJ)، حساسیت به نور (DVRI)، شکل‌گیری سنبلچه (DVRP) و مرحله پر شدن دانه (DVRR) بر اساس $^{-1}$(درجه سانتی‌گراد-روز) می‌باشد.

DVRJ=0.001555, DVRI=0.000758, DVRP=0.000795, DVRR=0.001994

سپس برنامه PARAM اجرا گردید و سرعت رشد نسبی برگ (RGRLMX) و کسر ذخیره ساقه (FSTR) برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی محاسبه گردید:

RGRLMX=0.008, FSTR=0.068

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و مؤلفه‌های ون‌گنوختن لایه‌های خاک مزرعه آزمایش

Table 1- Physical properties and components of van Genuchten the soil layers of the experimental field

عمق Depth (cm)	شن Sand (٪)	لوم Loam (٪)	رس Clay (٪)	θ_{SAT} (–)	K_{SAT} (cm.day^{-1})	θ_{FC} (–)	θ_{PWP} (–)	N	α (cm^{-1})
0-10	14	39	47	0.65	57.54	0.40	0.27	1.23	0.03
10-20	17	39	44	0.62	30.80	0.40	0.30	1.20	0.03
20-30	9	44	47	0.62	0.40	0.41	0.30	2.99	0.06
30-40	11	42	47	0.60	12.40	0.42	0.30	1.17	0.26

θ_{SAT}: رطوبت در نقطه اشباع، θ_{FC}: ظرفیت مزرعه‌ای، θ_{PWP}: نقطه پژمردگی دائم، K_{SAT}: هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n: شاخص‌های آب‌شناختی معادله ون‌گنوختن.

θ_{SAT}: Saturation Moisture, θ_{FC}: Farm Capacity, θ_{PWP}: Permanent Wilting Point, KSAT: Saturated Hydraulic Conduct, α and n: Hydrologic Indicators of the Van Genuchten Equation.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در محل انجام طرح

Table 2- Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the project

سال Year	ماه Month	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	سرعت باد Wind speed (m.s^{-1})	تابش Radiation (KJ.m^{-2}.d^{-1})	فشار هوا vapor pressure (KPa)	بارش Rainfall (mm)
2016	April	9.67	18.80	1.54	343778	1.20	127.4
	May	14.92	24.66	1.77	428218	1.84	26.5
	June	18.44	28.75	1.59	595321	2.27	48.3
	July	20.98	31.28	1.47	609381	2.63	144.8
	August	21.43	33.09	1.34	592162	2.73	51.2
	September	20.12	31.42	1.29	459063	2.59	164.7
2017	April	8.75	17.96	2.41	383139	1.25	89.4
	May	14.34	23.91	2.00	481220	1.81	27.1
	June	18.88	28.27	1.82	610828	2.28	9.0
	July	20.68	31.08	1.59	607252	2.59	14.7
	August	22.14	32.85	1.61	672293	2.70	0
	September	21.31	32.20	1.62	527633	2.76	60.5

آمار دما، سرعت باد، تابش و فشار هوا بر اساس میانگین ماهانه در شش ماه اول سال و بارش بر اساس مجموع بارش در هر ماه ذکر گردیده است.

The temperature, wind speed, irradiance and air pressure are based on the monthly average in the first six months of the year and precipitation based on the total rainfall in each month.

تشریح مدل AquaCrop

هسته اصلی تخمین عملکرد محصول در AquaCrop رابطه دورنباس و کاسام (رابطه ۱) است که با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (Es) و تعرق (Tc) و نیز عملکرد (Y) به زیست‌توده (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است (Raes *et al.*, 2012).

$$\left(1-\frac{Y}{Y_X}\right)=K_y\left(1-\frac{ET}{ET_X}\right) \quad (۱)$$

که در آن Yx: حداکثر عملکرد؛ Y: عملکرد واقعی؛ ETx: حداکثر تبخیر و تعرق؛ ET: تبخیر و تعرق واقعی و Ky: عامل تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق

است. برای محاسبه عملکرد از زیست‌توده، مدل AquaCrop از رابطه (۲) استفاده می‌کند (Raes *et al.*, 2012).

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B \quad (۲)$$

که در آن: HI_0: شاخص برداشت مرجع (طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک)؛ Y: عملکرد دانه؛ B: میزان تولید زیست‌توده و f_{HI}: ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند و به کمبود آب، دمای هوا، زمان و شدت تنش در طول چرخه رشد محصول بستگی دارد (Raes *et al.*, 2012). ضرایب واسنجی شده گیاهی که به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته شد شامل دمای پایه رشد (۸ درجه سانتی‌گراد)، دمای سقف (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل (۱/۱۵)، آستانه بالای ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها (۰/۷) و برای پیر شدن تاج‌پوشش گیاه (۰/۶)، ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها (۳) و برای پیری تاج‌پوشش (۳) بود. همچنین ضرایبی که در واسنجی تنظیم شد شامل ضریب رشد تاج‌پوشش (۱۳/۱ درصد در روز)، ضریب کاهش تاج‌پوشش (۱۱/۸ درصد در روز)، بهره‌وری آب نرمال شده (۲۰ گرم بر مترمربع)، حداکثر پوشش تاج‌پوشش (۹۵ درصد)، زمان کاهش تاج پوشش (۲۵ روز)، شاخص برداشت (۵۷ درصد)، آستانه پایین و بالای منحنی ضریب تنش خشکی برای گسترش تاج‌پوشش گیاه (به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۵) و ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاج‌پوشش گیاه (۰) بود.

جدول ۳- اطلاعات گیاهی ضرایب تخصیص گیاه، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ در مدل ORYZA2000

Table 3- Vegetation information. Plant allocation coefficients, specific surface and leaf death rate in the ORYZA2000 model

مرحله رشدی گیاه Plant growth stage DVS	سرعت مرگ برگ Death rate of leaves DRLVT (d^{-1})	سطح ویژه برگ Special leaf area SLA ($ha.kg^{-1}$)	تخصیص ماده خشک به اندام هوایی Allocation of dry matter to the aerial organs FSHTB	عامل تفکیک اندام هوایی به برگ aerial organs separation factor to leaf FLVTB	عامل تفکیک اندام هوایی به ساقه aerial organs separation factor to shoot FSTTB	عامل تفکیک اندام هوایی به سنبله aerial organs separation factor to panicle FSOTB
0.000	0.000	0.0032	0.500	0.500	0.500	0.000
0.330		0.0025				
0.430			0.750			
0.500				0.600	0.400	
0.600	0.005					
0.650		0.002				
0.700				0.450	0.550	0.000
1.000	0.045		1.000	0.100	0.700	0.200
1.600	0.050			0.000	0.000	1.000
2.100	0.050	0.001				
2.500	0.050	0.001	1.000	0.000	0.000	1.000

در مراحل رشد DVS=0 مرحله جوانه‌زنی و DVS=2 برابر رسیدگی فیزیولوژی است.

In the growth stages, DVS = 0 is germination stage and DVS = 2 is the physiological maturity stage.

به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop و ORYZA2000، از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری، مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی در شرایط آبیاری نوبتی و تاریخ کاشت استفاده شد، نمودار پراکنش داده‌های شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به‌منظور نشان دادن تناسب کلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده (P) و اندازه‌گیری شده (O) محاسبه گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از آزمون t و متغیرهای آماری رابطه (۳) الی (۶) استفاده شد (Bouman and Van Laar, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$NRMSE = 100\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}/O_{mean} \quad (۴)$$

$$RMD = \frac{100}{\bar{O}}\sum_{i=1}^{n}\frac{P_i - O_i}{n} \quad (۵)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_{mean} - O_i)^2} \quad (۶)$$

Pi= مقدار شبیه‌سازی مدل اجزای گیاهی، Oi= مقدار اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، n= تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی،

O_{mean}= میانگین مقادیر اندازه‌گیری اجزای گیاهی، RMSE[۱]= ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE[۲]= ریشه میانگین مربعات خطای نرمال. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت مطلوب یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، برابر با صفر هستند. آشکار است هرچه مقدار این دو مؤلفه به صفر نزدیک‌تر باشد مدل دقیق‌تر است. چنانچه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از ۱۰ باشد نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰ حالت خوب، بین ۳۰-۲۰ حالت متوسط و بالای ۳۰ حالت ضعیف شبیه‌سازی می‌باشند (Rinaldi *et al.*, 2003). RMD انحراف ساختاری محاسبه شده مدل و EF کارایی مدل نسبت به میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است (Nash and Sutcliffe, 1970).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

متغیرهای آماری که برای ارزیابی (واسنجی و اعتبارسنجی) توانایی مدل AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج مدنظر بود، در جدول ۴ ارائه داده شده است. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا در شبیه‌سازی عملکرد دانه در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب ۳۲۷ و ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب ۹ و ۷ درصد بدست آمد (جدول ۴). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده مدل در شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد) (جدول ۴). ژو و همکاران (Xu *et al.*, 2019) در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج با مدل AquaCrop تحت شرایط خشکی و رطوبت متناوب، خطای نسبی مدل را کمتر از ۳/۶ درصد گزارش نمودند. امیری لاریجانی و همکاران (Amiri Larijani *et al.*, 2013) در شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج در سنین مختلف گیاهچه‌ای با استفاده از مدل ORYZA2000، میانگین جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) ۶٪ تا ۹٪ برای عملکرد دانه را گزارش نمودند. مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری در شکل ۱ نشان داد که اکثر داده‌ها در محدوده خطای کمتر از ۱۵ درصد بودند. بررسی دامنه مقادیر عملکرد دانه واقعی (۳۰۰۰ تا ۴۷۶۱ کیلوگرم در هکتار) و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop (۱۷۴۱ تا ۴۲۳۱ کیلوگرم در هکتار) و مدل ORYZA2000 (با دامنه ۲۲۱۵ تا ۴۷۶۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داد مقادیر شبیه‌سازی شده بین ۱۵- تا ۲۰ درصد خطا داشته است. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری، عملکرد دانه واقعی کم می‌شود. تاریخ کاشت یک و ۲۰ اردیبهشت (به‌ترتیب با میانگین ۳۷۹۵ و ۳۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین عملکرد دانه را طی دو سال آزمایش داشته است که مدل‌ها نیز به‌خوبی تغییرات عملکرد دانه را طی شرایط واسنجی و اعتبارسنجی پیش‌بینی نمودند (شکل ۲). با توجه به مبتنی بودن مدل AquaCrop بر روابط آبی، طبق نتایج، شبیه‌سازی مطلوبی از تعرق و سایر تغییرات به‌وجود آمده تحت تأثیر تغییر تاریخ کاشت و دور آبیاری مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد بر اساس ساختار مدل ORYZA2000، مراحل فنولوژی و سرعت رشد گیاه و عملکرد نهایی به‌خوبی تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت شبیه‌سازی شد. بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد دانه در واسنجی مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب در تیمارهای I4D1 و I3D1 و در شرایط اعتبارسنجی به‌ترتیب در تیمارهای I1D1 و I4D1 مشاهده شد. شرایط توأمان آب، کود و تاریخ کاشت تأثیر پیچیده‌ای بر رشد و نمو گیاه برنج در شرایط واقعی ایجاد می‌کند، به نحوی که به‌خصوص در شرایط کم‌آبی در تاریخ کاشت اول (مدیریت آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز)، مدل در تخمین عملکرد دانه دقت کمتری داشت، اما به‌طور متوسط طی دو سال آزمایش درصد خطای مدل جهت تخمین عملکرد دانه کم‌تر از ۱۰ درصد بوده است (شکل ۲). طبق نتایج به نظر می‌رسد بررسی دقیق‌تر روابط آبی گیاه تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت می‌تواند سبب افزایش دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد شود. لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) در مطالعه خود در بررسی ساختار مدل ORYZA2000 نیاز به بازنگری ساختار مدل جهت شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط مختلف دسترسی به آب را گزارش نمودند. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۱) بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب تبیین (R^2) برای کل داده‌های دو سال آماری در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۸۴ است (شکل ۱) که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد.

1- Root Mean Square Error
2- Root Mean Square Error Normalized

جدول ٤- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های گیاهی مدل AquaCrop و ORYZA2000 (دو سال ۱۳۹٦-۱۳۹۵)

Table 4- Results of simulation of plant components of AquaCrop and ORYZA2000 model (in two years of 2016 -2017)

	تعداد Number	NRMSE (%)	RMSE	P(t)	R^2	P_{mean}	O_{mean}	EF	RMD (%)
AquaCrop									
عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	24	9	327	0.31	0.75	3575	3661	0.74	-1.9
عملکرد زیستی Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)	24	5	1038	0.63	0.78	10039	9992	0.77	0.55
ORYZA2000									
عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	24	7	275	0.86	0.83	3670	3661	0.81	0.26
عملکرد زیستی Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)	24	6	580	0.44	0.78	10050	9992	0.74	0.93

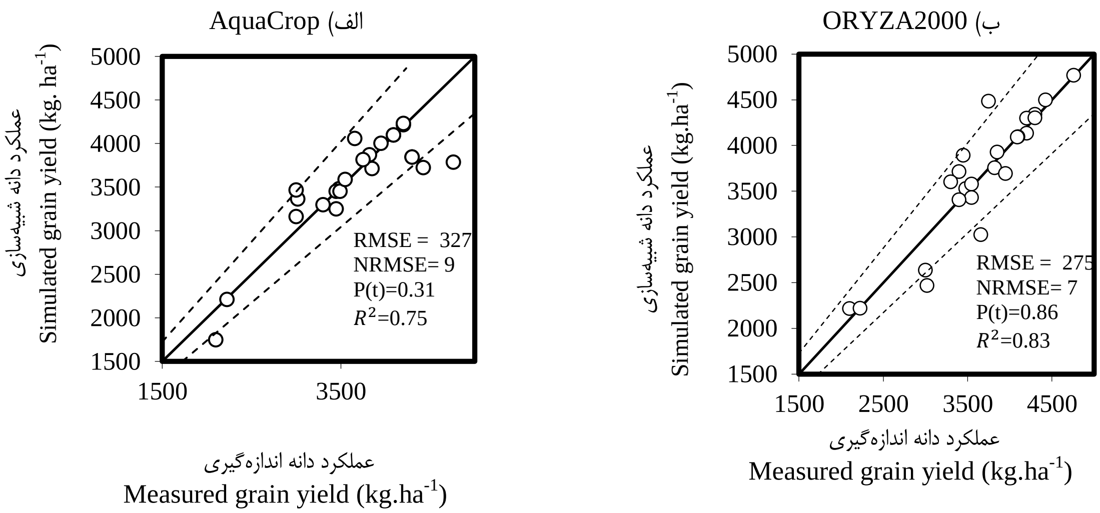
RMSE:ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE: ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، P(t): آزمون t، R^2: ضریب تبیین، P_{mean}: مقادیر شبیه‌سازی شده، O_{mean}: مقادیر مشاهده شده، EF:کارایی مدل، RMD: انحراف ساختاری مدل.

RMSE: root mean square error, NRMSE: root mean square error normalized, P (t): t test, R^2: explanatory factor, Pmean: simulated values, Omean: observed values; EF: calculated model efficiency; RMD: Structural deviation of the model.

عملکرد زیستی

نتایج ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد زیستی برنج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد در مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب معادل ۱۰۳۸ و ۵۸۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد زیستی به‌ترتیب ۵ و ۶ درصد تعیین شد (جدول ۵). عبدلگانیو و همکاران (Abdul-Ganiyu *et al.*, 2018) در بررسی اثر آبیاری بر عملکرد برنج با مدل AquaCrop ضریب تبیین به‌دست آمده در شبیه‌سازی عملکرد زیستی را بین ۰/۸۳ تا ۱ گزارش نمودند. تاری و همکاران (Tari *et al.*, 2017) در بررسی مدل ORYZA2000 مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد زیستی را ۶ درصد به‌دست آوردند. نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده مدل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد (جدول ۵). در شکل ۳ مقایسه مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده ارائه شده است. نتایج نشان داد که با تغییر در مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت عملکرد زیستی واقعی کم یا زیاد می‌شود که مدل‌ها نیز کاهش و افزایش مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده را به‌خوبی نشان دادند. نتایج نشان داد بر اساس معادلات ذکر شده مدل ORYZA2000 به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی اثر شرایط محیطی شامل کمبود آب، دمای هوا، زمان و شدت تنش در طول چرخه رشد تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت روی تولید زیست‌توده می‌باشد. در شکل ۳ مقایسه مقادیر عملکرد زیست‌توده واقعی (۶۹۰۰ تا ۱۱۳۲۵ کیلوگرم در هکتار) و شبیه‌سازی شده در مدل AquaCrop (۶۸۵۹ تا ۱۱۴۳۷ کیلوگرم در هکتار) و ORYZA2000 (با دامنه ۷۵۰۵ تا ۱۲۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داده شد. بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد زیستی در واسنجی مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب در تیمار I4D3 و I3D2 و در اعتبارسنجی به‌ترتیب در تیمار I3D3 و D2I2 مشاهده شد (شکل ۳). در بررسی مدل AquaCrop نتایج نشان داد که درصد خطای مدل متغیر بوده، به نحوی که در سال اول تاریخ کاشت D3 در بین مدیریت-های تاریخ کاشت و در شرایط مدیریت آبیاری با افزایش سطح خشکی قدر مطلق میزان خطا افزایش یافت؛ درحالی که در سال دوم در تیمار آبیاری ۵ روزه بیش‌ترین خطا مشاهده شد (شکل ۳). گیو و همکاران (Guo *et al.*, 2019) در بررسی عدم قطعیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی بیان کردند که مدل مذکور دارای مؤلفه‌های مبتنی بر بیلان آب بسیار حساسی است و به‌طور دقیق باید در محیط‌های مختلف مورد واسنجی قرار گیرد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که واسنجی در چندین مرحله می‌تواند سبب افزایش دقت مدل در شبیه-

سازی گردد. در بررسی مدل ORYZA2000 در تاریخ کاشت اول در بین مدیریت‌های تاریخ کاشت و در شرایط مدیریت آبیاری با افزایش فاصله آبیاری، قدر مطلق میزان خطا افزایش یافت (شکل ۳). به نظر می‌رسد کاهش دقت مدل در شبیه-سازی زیست‌توده، ناشی از دقت پایین مدل در شبیه‌سازی روابط آب، خاک و گیاه جهت پیش-بینی تولید و تخصیص زیست‌توده گیاه تحت تغییرات به‌وجود آمده در تاریخ‌های کاشت و دور آبیاری بوده است. لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) نیز بیش‌برآورد مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی زیست‌توده برنج به دلیل دقت کم مدل در شبیه‌سازی پتانسیل آب خاک گزارش نمودند. نتایج حاصل از رگرسیون خطی (شکل ۴) بین مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب تبیین برای داده‌های مجموع دو سال آماری مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۸۱ است که نشان از مناسب بودن مدل‌ها در شبیه‌سازی عملکرد زیستی دارد.

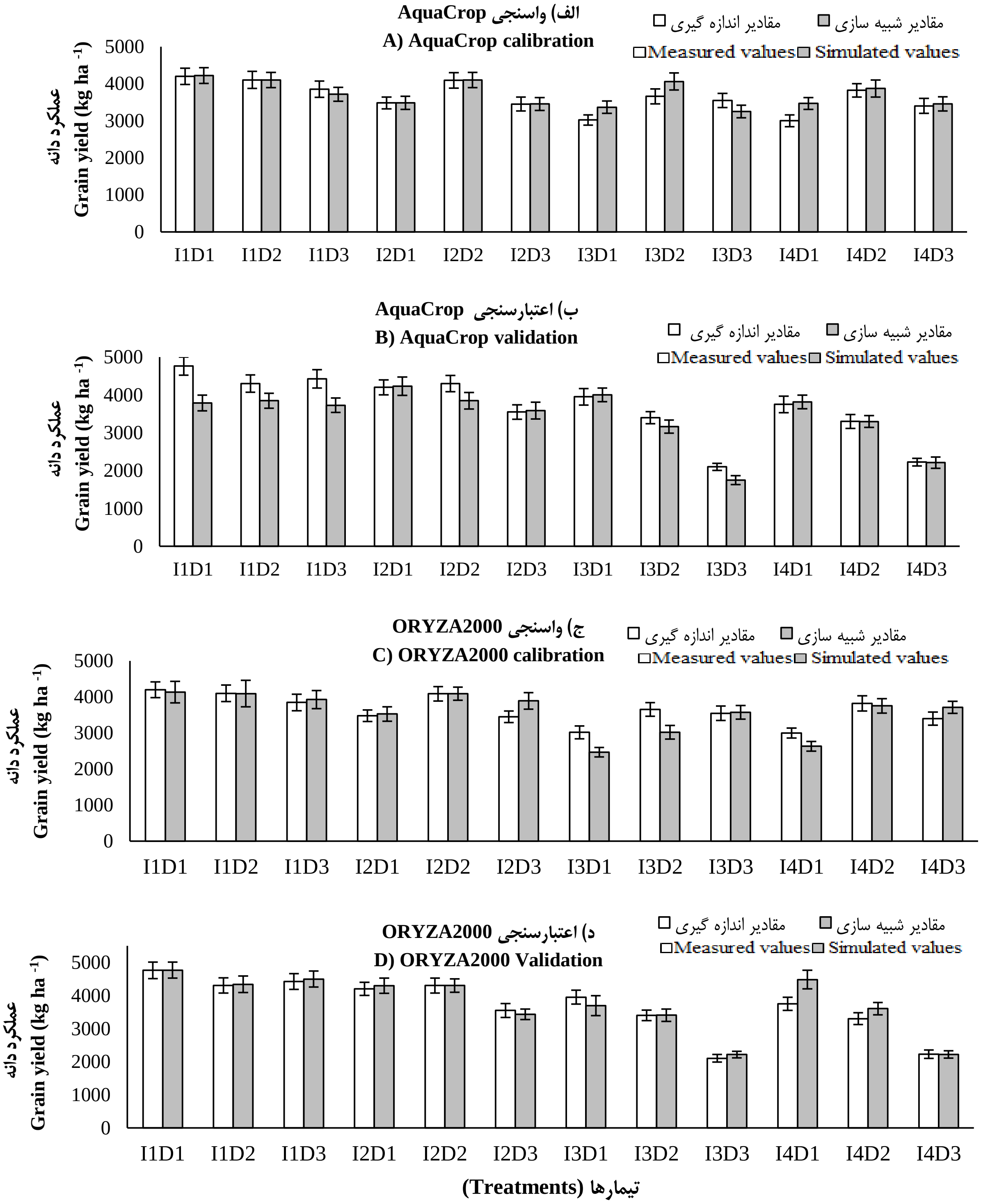


شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱. خطوط منقطع حدود اطمینان ۱۵٪ را نشان می‌دهند.

Figure 1- Comparison of simulated and measured grain yields compared to 15% confidence lines

مقایسه مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000

نتایج بررسی نشان داد که مدل AquaCrop دقت بالاتری در شبیه‌سازی زیست‌توده برنج در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی (RMD=0.55, EF=0.77, R^2=0.78) نسبت به مدل ORYZA2000 (RMD=0.93, EF=0.74, R^2=0.81) داشته است (جدول ۴)؛ در حالی که مدل ORYZA2000 بر اساس نتایج (RMD=0.26, EF=0.81, R^2=0.83) بیش‌ترین دقت را در شبیه‌سازی عملکرد دانه طی دو سال آزمایش در مقایسه با مدل AquaCrop (RMD=-1.9, EF=0.74, R^2=0.75) داشته است (جدول ۴). اساس کار مدل AquaCrop شبیه‌سازی پاسخ عملکرد محصولات گیاهی به آب است و به‌ویژه در شرایطی که آب عامل مهمی در تولید محصول می‌باشد، مناسب است و بر اساس تعرق روزانه برنج، عملکرد دانه را پیش‌بینی می‌کند (FAO, 2020)؛ در حالی‌که مدل ORYZA2000 بر اساس سرعت رشد متفاوت در مرحله گیاهچه، مرحله حساس به دوره نوری، مرحله آغاز شکل‌گیری خوشه و مرحله رشد رویشی، عملکرد را پیش‌بینی می‌کند (Amiri *et al.*, 2014) طبق این بررسی، شبیه‌سازی عملکرد دانه مدل ORYZA2000 در این آزمایش از دقت بالاتری برخوردار بوده است. نتایج نشان داد مدل AquaCrop جهت اجرا در شرایط دسترسی به داده اندازه‌گیری شده کم‌تر مطلوب‌تر است؛ اما اگر بخواهیم بررسی با دقت بالاتری انجام دهیم استفاده از مدل ORYZA2000 پیشنهاد می‌شود. از آن‌جا که مدل ORYZA2000 یک مدل تخصصی برنج است نیاز به اطلاعات بیش‌تری در مورد گیاه و خاک دارد (از جمله تعداد روز در خزانه، تعداد کپه در مترمربع، تعداد نشاء در مترمربع و روش کاشت و میزان نفوذ عمقی)؛ اطلاعات بیش‌تر منجر به شبیه‌سازی بهتر می‌شود (Amiri *et al.*, 2009).

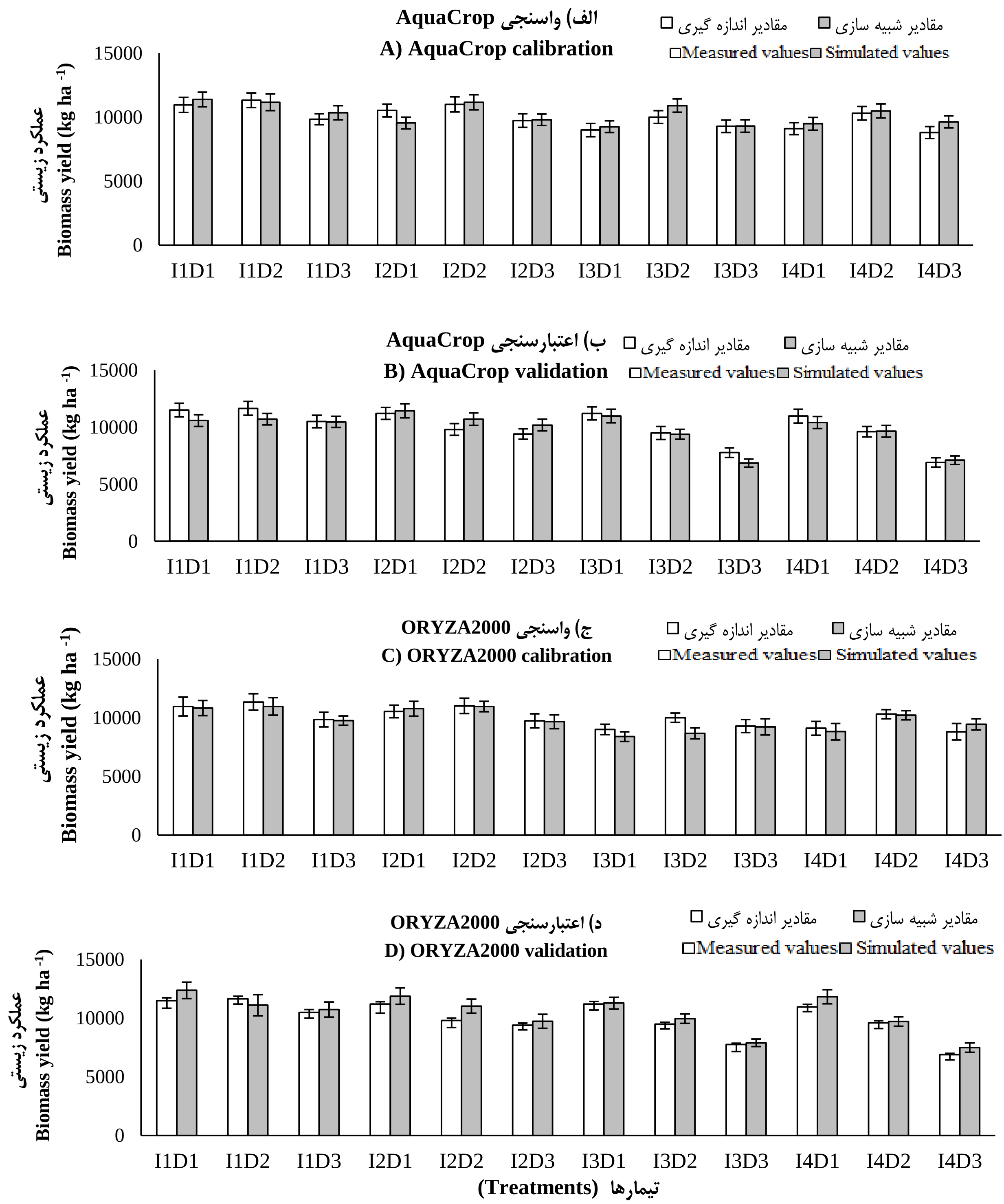


شکل ۲- مقادیر عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop و ORYZA2000 در تیمارهای ترکیبی تاریخ کاشت و دور آبیاری در برنج (رقم هاشمی)

D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

Figure 2- Observed and simulated grain yield values by AquaCrop and ORYZA2000 models in combined treatment of planting date and irrigation cycle in rice (Hashemi cultivar).

D1, D2, D3: planting date of April, 21^{th} , May, 11^{th} and May, 31^{th} ; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.

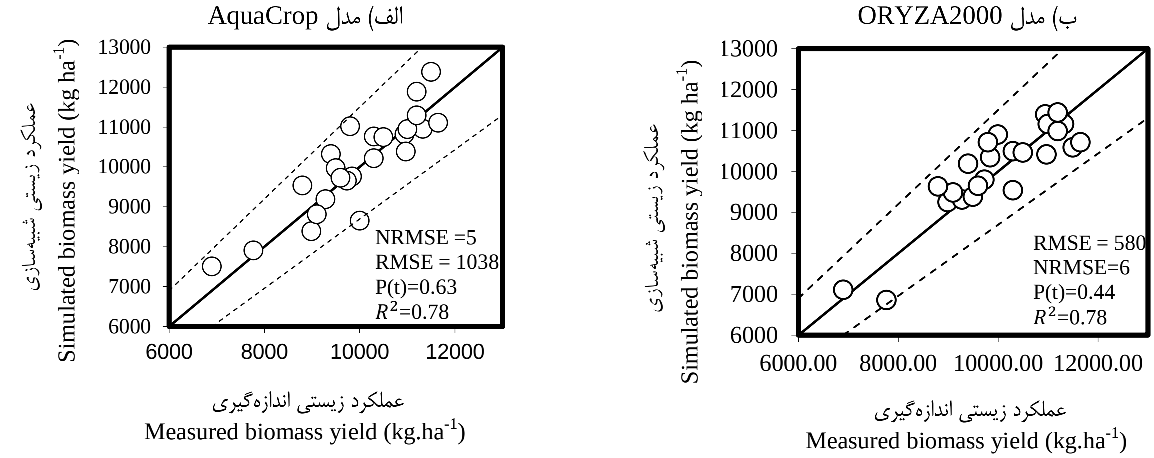


شکل ۳- مقادیر عملکرد زیستی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop و ORYZA2000 در تیمارهای ترکیبی تاریخ کاشت و دور آبیاری در برنج (رقم هاشمی)

D3,D2,D1: به‌ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به‌ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه

Figure 3- Observed and simulated biomass yield values by AquaCrop and ORYZA2000 models in combined treatment of planting date and irrigation cycle in rice (Hashemi cultivar)

D1, D2, D3: planting date of April, 21th , May, 11th and May, 31th ; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.



شکل ٤- مقایسه عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خطوط اطمینان ۱۵ درصد

Figure 4- Comparison of simulated and measured biomass yields compared to 15% confidence lines

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که هر دو مدل بر اساس مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کم‌تر از ۱۰ درصد و کارایی مدل و ضریب تبیین بالای ۰/۷ و انحراف ساختاری کم‌تر از ۲ درصد، دقت مطلوبی در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده طی واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها داشته‌اند. مدل ORYZA2000 با توجه به ضریب تبیین و کارایی مدل بالا (به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۱) دقت بالاتری در شبیه‌سازی عملکرد دانه نسبت به مدل AquaCrop با ضریب تبیین و کارایی مدل به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۷۴ نشان داد. به نظر می‌رسد توصیف بهتر شرایط گیاه و خاک در مدل و واسنجی بهتر ژنتیکی، سبب افزایش دقت برآورد عملکرد در مدل ORYZA2000 شد. همچنین با توجه به نتایج قابل‌قبول به‌دست آمده در مدل AquaCrop می‌توان نتیجه گرفت که مدل مذکور تغییرات به‌وجود آمده در روابط آبی گیاه تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت و دور آبیاری را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده است.

References

1. Abdul-Ganiyu, S., Kyei-Baffour, N., Agyare, W. A., and Dogbe, W. 2018. Evaluating the Effect of Irrigation on Paddy Rice Yield by Applying the AquaCrop Model in Northern Ghana. In Strategies for Building Resilience against Climate and Ecosystem Changes in Sub-Saharan Africa (pp. 93-116). Springer, Singapore.
2. Agricultural Statistics. 2017. Volume I: Crop products. 2015-16. Office of Statistics and Information -Technology, Deputy Director of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agricultural Jihad. 90 p. (in Persian).
3. Amiri Larijani, B., Tahmasebi, S. Z., and Nematzade, G. A. 2013. Simulation of leaf area index, biomass and grain yield of rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model. Seed and Plant Production 29: 3. 283-302.
4. Amiri, E., and Rezaei, M. 2010. Evaluation of water–nitrogen schemes for rice in Iran, using ORYZA2000 model. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 2459-2477.
5. Amiri, E., Kavosi, M., and Kaveh, F. 2009. Evaluation of ORYZA2000, SWAP and WOFOST plant models in different irrigation management. Agricultural Engineering Research 10 (3): 13-28. (in Persian with English abstract).
6. Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and Bannayan, M. 2011. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and Modeling Approach. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42 (17): 2085-2099.
7. Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E. E., and Bannayan, M. 2014. Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza 2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. Journal of Plant Nutrition 37 (11): 1749-1769.
8. Bouman, B. A. M., and Van Laar, H. H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agricultural Systems (87): 249-273.
9. Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Ten Berge, H. F. M., and Van Laar H. H. 2001. ORYZA2000: modeling lowland rice. International Rice Research Institute, Los Banos.
10. FAO. 2020. Food and Agricultural Organization of the United Nations (sited in: http://www,fao.org/index_en.htm/, 1/1/2020.

11. Guo, D., Zhao, R., Xing, X., and Ma, X. 2019. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and fertilizer management conditions. Archives of Agronomy and Soil Science 1-19.
12. IRRI. 2013. Standard Evaluation System (SES) for Rice.
13. Jin, X., Li, Z., Nie, C., Xu, X., Feng, H., Guo, W., and Wang, J. 2018. Parameter sensitivity analysis of the AquaCrop model based on extended fourier amplitude sensitivity under different agro-meteorological conditions and application. Field Crops Research 226: 1-15.
14. Leng, G. 2017. Recent changes in county-level corn yield variability in the United States from observations and crop models. Science of The Total Environment 607: 683-690.
15. Li, T., Angeles, O., Marcaida III, M., Manalo, E., Manalili, M. P., Radanielson, A., and Mohanty, S. 2017. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. Agricultural and Forest Meteorology 237: 246-256.
16. Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C., and Hallett, P. D. 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. Global Food Security 2 (1): 24-28.
17. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., and Foley, J. A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature 490 (7419): 254-257.
18. Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. PartI: A discussion of principles. Journal of Hydrology 10: 282-290.
19. Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., and Müller, C. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. Agricultural Systems 103 (5): 316-326.
20. Nisar, S., and Arora, V. K. 2018. Analysing Dry-Seeded Rice Responses to Planting Time and Irrigation Regimes in a Subtropical Environment Using ORYZA2000 Model. Agricultural Research 7 (4): 424-431.
21. Pazoki, A. R. Karimi Nejad, M. and Foladi Toroghi, A. R. 2010. Effect of planting dates on yield of ecotypes of saffron (*Crocus sativus* L.) in Natanz region. Crop Physiology 8 (2): 3-12. (in Persian).
22. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
23. Rinaldi, M., Losavio, N., and Flagella. Z. 2003. Evaluation of OIL CROP-SUN model for sun flower in southern Italy. Agricultural Systems 78:17-30.
24. Rosegrant, M. W., and Cline, S. A. 2003. Global food security: challenges and policies. Science 302 (5652): 1917-1919.
25. Tari, D. B., Amiri, E., and Daneshian, J. 2017. Simulating the Impact of Nitrogen Management on Rice Yield and Nitrogen Uptake in Irrigated Lowland by ORYZA2000 Model. Communications in Soil Science and Plant Analysis 48 (2): 201-213.
26. Van Oort, P. A. J., Balde, A., Diagne, M., Dingkuhn, M., Manneh, B., Muller, B., Sow, A., and Stuerz, S. 2016. Intensification of an irrigated rice system in Senegal: Crop rotations, climate risks, sowing dates and varietal adaptation options. European Journal of Agronomy 80: 168-181.
27. Wopereis, M. C. S. 1993. Quantifying the impact of soil and climate variability on rainfed rice production. PhD thesis. Wageningen (Netherlands): Wageningen Agricultural University. 188 p.
28. Xu, J., Bai, W., Li, Y., Wang, H., Yang, S., and Wei, Z. 2019. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. Agricultural Water Management 213: 289-297.
29. Zhai, B., Fu, Q., Li, T., Liu, D., Ji, Y., Li, M., and Cui, S. 2019. Rice Irrigation Schedule Optimization Based on the AquaCrop Model: Study of the Longtouqiao Irrigation District. Water 11 (9): 1799.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 401-412

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۱۲-۴۰۱

Evaluation of Plant Models in Simulating Rice Yield under Crop Management in Rasht

P. Aalaee Bazkiaei[1], B. Kamkar[2], E. Amiri[3*], H. Kazemi[4], M. Rezaei[5]

Received: 06-05-2020
Accepted: 02-11-2020

Introduction

Nowadays, food production systems need to be explored for supplying the needs of the world's growing population, as well as sustainable production in the face of global climate change. In this regard, Cereal's yield has played a significant role in supporting global food security. The unceasing growth in demand for water in the industrial sector, drinking water, and reduction in the amount of water available for the agricultural sector has led to a reduction of water usage in rice, which threatens its production. Crops simulation models can be used to carry out various studies such as the selection of suitable cultivar and plant, determining the best agricultural management and production capacity of the area. The purpose of this study was to investigate the ORYZA2000 and AquaCrop accuracy in simulating grain and biomass yields of rice affected by irrigation and planting dates.

Materials and Methods

To evaluate the ORYZA2000 and AquaCrop models for rice production under irrigation management and planting date, a split-plot experiment based on a complete randomized block design with three replications was carried out on a local (Hashemi) cultivar in the years of 2016 and 2017 in the Rice Research Institute of Iran, Rasht. Irrigation interval was considered as the main factor at four levels including full flooding, 5, 10, and 15 days irrigation intervals, and transplanting date was assigned to subplot at three levels (April 21st, May 11th, and May 31th). Simulated and observed values of grain yield and biomass yield were evaluated based on the coefficient of determination, T-test, root mean square error (RMSE), Model efficiency (EF), Structural deviation of the model (RMD), and normalized root mean square error (NRMSE).

Results and Discussion

The results showed that normalized root mean square error of the grain yield and biomass yield were 9% and 5%, in the Aquacrop model and were 7% and 6% in the ORYZA2000 model, respectively. Evaluation of the results showed that the efficiency of the model and the coefficient of the explanation were above 0.7 and structural deviations were less than 2% that showed good accuracy in simulating the grain yield and biomass yield during calibration and validation of models. Evaluation of the amplitude of actual grain yield (3000 to 4761 $kg.ha^{-1}$) and simulated by AquaCrop model (1741 to 4231 $kg.ha^{-1}$) and ORYZA2000 model (with 2215 to 4766 $kg.ha^{-1}$ range) showed simulated values had between -15 and 20 percent of error. The results showed that with increasing irrigation intervals, the actual grain yield decreases. The planting date of April 21st and May 11th (with an average of 3795 and 3820 $kg.ha^{-1}$, respectively) had the highest yield of grain in two years, and the models also had a predicting of changes in grain yield during calibration and validation. ORYZA2000 model, due to the high coefficient of explanation and efficiency (0.83 and 0.81, respectively), has higher accuracy in simulating the grain yield than the AquaCrop model. The results showed that based on the mentioned equations, the ORYZA2000 model is well able to simulate the effect of environmental conditions including water shortage, air temperature, time, and intensity of stress during the growth cycle under the influence of irrigation and planting date on yield production. It seems that due to the better description of plant and soil conditions in the model and better genetic evaluation, it increased the accuracy of yield estimation in the ORYZA2000 model. Also, according to the acceptable results obtained in the AquaCrop model, it can be concluded that the mentioned model has a good simulation of the changes in the plant's water relations under the influence of the interaction effect of planting date and irrigation intervals.

Conclusions

According to the present study, the ORYZA2000 and Aquacrop models can be used to support the results of experiments under irrigation management conditions and planting dates.

Keywords: AquaCrop model, Irrigation, ORYZA2000 model, Planting date

1- PhD student, Department of Agriculture, Plant production College, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Professor, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran
4- Associate Professor, Department of Agriculture, Plant production College, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: eamiri57@yahoo.com)